

2022 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：強風防災 or 室内環境 or 屋外環境 or 分野横断・異分野連携 or 新型コロナウイルス
研究期間：2022 年度
課題番号：22222009
研究課題名（和文）： 実街区における通風性能及び促進デバイスの有効性に関する研究
研究課題名（英文）： Evaluation of ventilation performance and effective effectiveness of devices in actual block area
研究代表者：倉瀨 隆
交付決定額（当該年度）： 450,000 円

※ページ数の制限はありません。

※成果等の説明に図表を使用させていただいて構いません。（カラーも可）

※提出して頂いた成果報告書をホームページでの公開を予定しております。

その1 単一開口による温度差換気を用いた室内換気と温熱環境改善に関する研究

1. 研究の目的

2003 年の建築基準法の改正では、シックハウス対策として、居室において衛生上の支障を生ずるおそれがある物質による室内汚染を防止するため、一定の換気回数を満たした機械換気設備（いわゆる 24 時間換気設備等）の設置に関する規制を定められた。またこれに加え昨今では新型コロナウイルスの感染防止のため 2)居室内の積極的な換気が求められている。

建築基準法におけるシックハウス対策の概要②

国土交通省

（平成14年7月12日 建築基準法の一部を改正する法律 公布 平成15年7月1日 施行）

I. クロルビリホスに関する規制

居室を有する建築物にはクロルビリホスを添加した建材の使用を禁止する。

II. ホルムアルデヒドに関する規制

1. 内装仕上げの制限

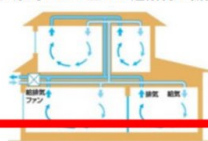
居室の種類及び換気回数に応じて、内装仕上げに使用するホルムアルデヒドを発生する建材の面積制限を行う。

建築材料の区分	ホルムアルデヒドの発散	JIS、JASなどの表示記号	内装仕上げの制限
建築基準法の規制対象外	少ない 放射速度 5 µg/m ² h以下	F☆☆☆	制限なしに使える
第3種ホルムアルデヒド発散建築材料	↑ 5µg/m ² h ~20 µg/m ² h	F☆☆☆	使用面積が制限される
第2種ホルムアルデヒド発散建築材料	↓ 20µg/m ² h ~120 µg/m ² h	F☆☆	
第1種ホルムアルデヒド発散建築材料	高い 120 µg/m ² h超	旧Et、Fcz又は表示なし	使用禁止

2. 換気設備の義務付け

ホルムアルデヒドを発生する建材を使用しない場合でも、家具からの発散があるため、原則として全ての建築物に機械換気設備の設置を義務づける。

居室の種類	換気回数
住宅等の居室	0.5回/h以上
上記以外の居室	0.3回/h以上



3. 天井裏等の制限

天井裏等は、下地材をホルムアルデヒドの発散の少ない建材とするか、機械換気設備を天井裏等も換気できる構造とする。

1) 建材による措置	天井裏などに第1種、第2種のホルムアルデヒド発散建築材料を使用しない(F☆☆☆以上とする)
2) 気密層、通気止めによる措置	気密層又は通気止めを設けて天井裏などと居室とを区画する
3) 換気設備による措置	換気設備を居室に加えて天井裏なども換気できるものとする

引用:国土交通省住宅局 建築物における効率的な換気の促進に関する取組事例集 2022年6月

図1 建築基準法改正

しかし、2003 年以前に建設された住宅の多くは、機械換気設備が設置されておらず*1、窓等を開口して自然換気に対応する必要があります。しかし冬期は外気を直接室内に導入することによる室内温熱環境の悪化が懸念されます。また自然換気時は開口を 2 箇所以上開放することが望ましいが、内外温度差の大きい冬期において 2 箇所の開口を連続して開放し換気を行った場合、換気量が過剰になり室内の温熱快適性が損なわれる恐れがある。そこで、冬期の単一開口による自然換気時に室内空気質を良好に保ち、かつ温熱快適性を損なわないための暖房熱源の配置を検討した。

2. 研究の方法

2. 1 現地実測

実測は神奈川県厚木市にある集合住宅の4階の住戸で行った。図2に実測対象室の平面図、各測定点、検討開口部概要を示す。開口幅は常に40mmとした。検討ケースを表1に示す。各ケースにて表1に示す発熱を行い、室内温度が安定した時点からCO₂をトレーサーガスとしたステップダウン法実験を開始し、各点の局所空気齢と温度を測定した。CO₂濃度測定では床上1200mmの位置に測定点を設け、各点での濃度減衰を測定した。また、開口部の床上1275mm（窓の高さの3/4）の位置にも測定点を設け、排気のCO₂濃度を測定した。室内温度測定では床上100mm、1100mm及び天井下100mmの位置に熱電対を設置した。

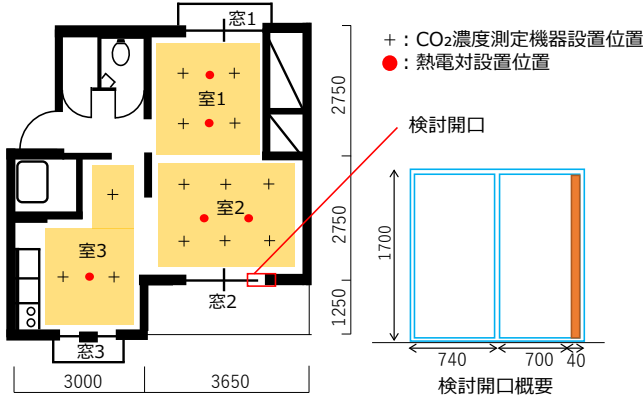


図2. 実測対象室概要

表1. 検討ケース一覧

ケース名	熱源 設置位置	発熱量
ケース1	各室中央	各室1200W, 窓2ペリメーターゾーン1100W
ケース2	室1	室1 3500W
ケース3	室1	室1 2400W
ケース4	室2	室2 3500W

2. 2 CFD解析

解析モデル、室内部モデル及びCFD解析概要を図3、4、表2に示す。対象室外は+X面を流入境界条件とし、疑似無風状態として表2に表す速度を与えた。室内発熱体は図4に示すように発熱体をモデル化し、発熱面に1200Wまたは1100Wの発熱量を与えた。壁面の熱伝達率は室内側7W/m²・K、室外側12W/m²・Kと仮定し、壁面と空気の温度差及び熱移動量から熱伝達率の値を調整し、壁面境界条件として設定した。各部分の熱貫流率を表3に示す。尚、屋根及び壁面の部材はコンクリート、厚み120mmと仮定した。この値から各部位の熱伝導抵抗値を算出し、CFDに与えた。

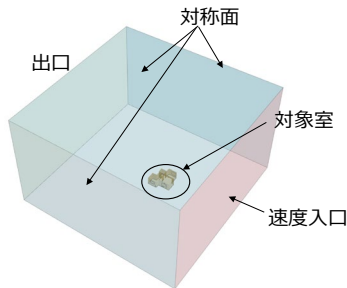


図3. 解析モデル

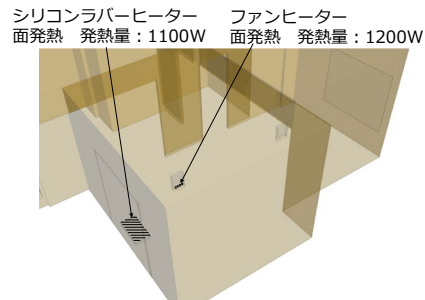


図4. 室内部モデル

表2. CFD解析概要

解析概要	
乱流モデル	標準k-εモデル
解析領域	50m(X) × 50m(Y) × 30m(Z)
メッシュ数	291,974

室内部境界条件	
発熱体	熱ソース (1200W, 1200W)
室内側壁面	熱伝達率6.75 W/(m ² ・K)
室外側壁面	熱伝達率17.25 W/(m ² ・K)

室外部境界条件	
+X面	速度入口 (-0.1m/s, 0m/s, 0m/s)
-X面	自由流出
+Y面	対象面
-Y面	対象面
+Z面	対象面

表3. 熱貫流率

窓名称	熱貫流率[W/(m ² ・K)]
窓1	2.95
窓2	6.51
窓3	3.86

3. 研究成果

3. 1 実測結果

図5に各ケースでの換気回数の実測結果と室内外温度差から求められる換気回数の理論値を示す。外気温度は実測地点から最も近い海老名のアメダスデータを用い、各ケースにおける換気回数の実測値は排気口空気齢の逆数を用いた。また、室内外温度差から求められる換気回数の理論値は表4に示す式より算出した。この結果からケース4では理論値に比べて実測値が大きくなっているものの、他のケースでは概ね理論値に沿う結果となった。これより、本実測において温度差による換気が正常に行われていることが確認できた。また、ケース4にて換気回数が大きくなったのは、熱源を室2に集中して配置したことにより、開口内外の温度差が大きくなったことに起因すると考えられる。

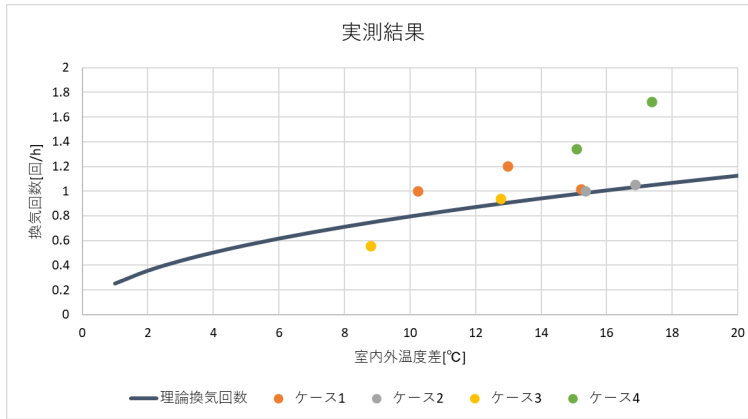


図5. 換気回数実測結果と理論換気回数の比較

表4. 内外温度差と通風量の関係式

$$Q = \frac{\alpha A}{2\sqrt{2}} \sqrt{\frac{gH\Delta t}{T}}$$

Q : 通風量 [m³/s]
 α : 流量係数 [-]
 A : 開口面積 [m²]
 g : 重力加速度 [m/s²]
 H : 開口高さ [m]
 Δt : 室内外温度差 [K]
 T : 室外温度 [K]

3. 1. 1 室内温度測定結果

ケース1 (図6)

ケース1の垂直温度分布を図7に示す。この結果から、各室ごとの温度差はあまり見られないことが分かる。また、床上100mmから床上1100mmまでの温度勾配に比べて、床上1100mmから天井100mmまでの温度勾配が小さくなっていることも確認できる。

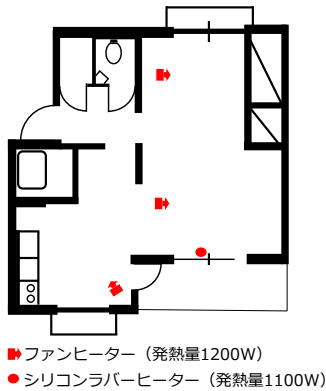


図6. ケース1 概要

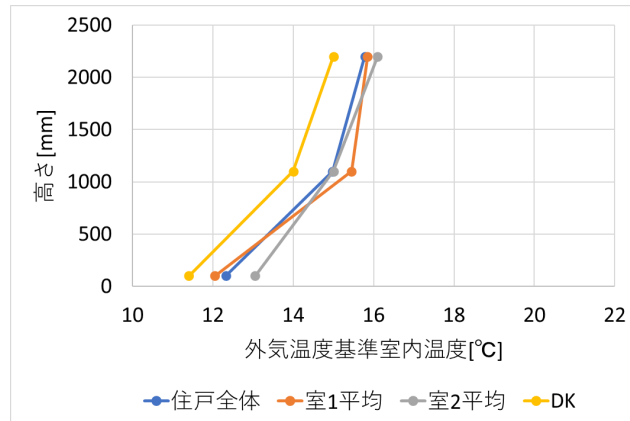


図7. ケース1 垂直温度分布 (実測)

ケース2 (図8)

ケース2の垂直温度分布を図9に示す。この結果から、床上100mmの点においては各室での温度は概ね等しいが、床上1100mm、天井100mmの点では発熱体が設置されている室の温度が高くなっている。対象住戸は室間の垂れ壁によってヒーターの熱が天井付近に溜まりやすい構造になっており、室1における発熱量はケース2が最も大きく、室1の天井付近の温度が最も高いのはこのことが原因である。

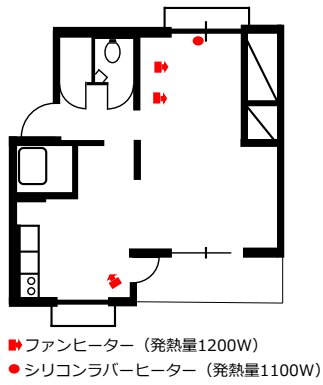


図 8. ケース 2 概要

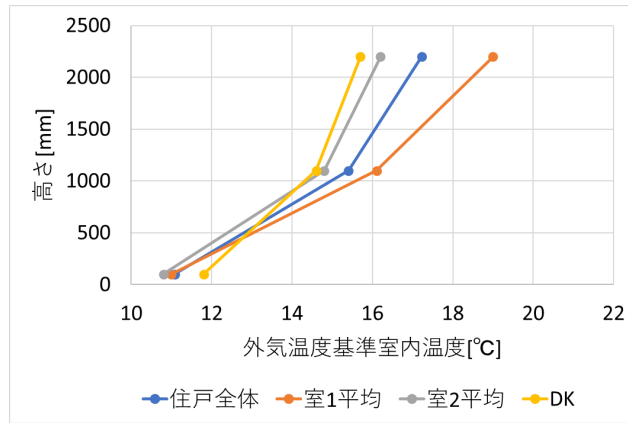


図 9. ケース 2 垂直温度分布 (実測)

ケース 3 (図 10)

ケース 3 の垂直温度分布を図 11 に示す。この結果から、各室の温度分布はケース 2 と同じ傾向を示しているが、ケース 2 と比較して発熱量が小さいことによる全体的な温度の低下が確認できた。また、ケース 2 に比べて床上 1100mm から天井下 100mm までの温度勾配が小さくなっており、これは室 2 における発熱量が小さかったためであると考えられる。

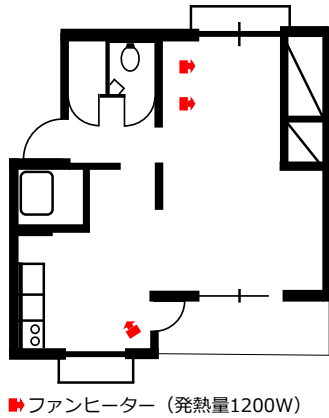


図 10. ケース 3 概要

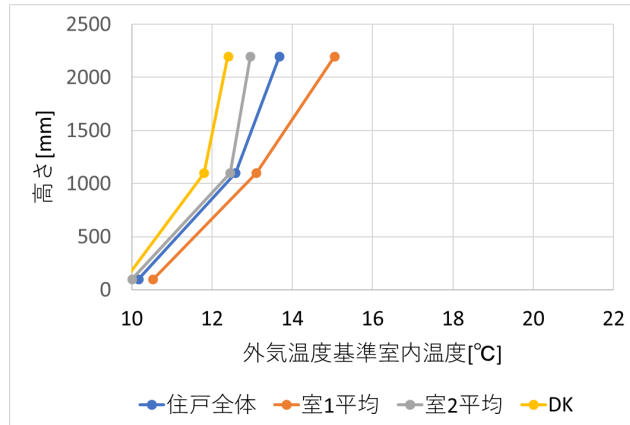


図 11. ケース 3 垂直温度分布 (実測)

ケース 4 (図 12)

ケース 4 の垂直温度分布を図 13 に示す。この結果から、ケース 2、3 同様に床上 100mm の点においては各室での温度は概ね等しいが、床上 1100mm、天井下 100mm の点では室 2 の温度が高くなっている。ケース 2 同様、室間の垂れ壁の影響により、室 2 における発熱量が大きいケース 4 において室 2 の天井付近の温度が高くなったと考えられる。

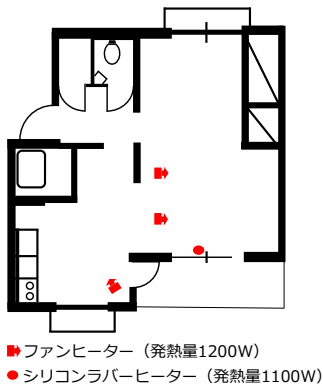


図 12. ケース 4 概要

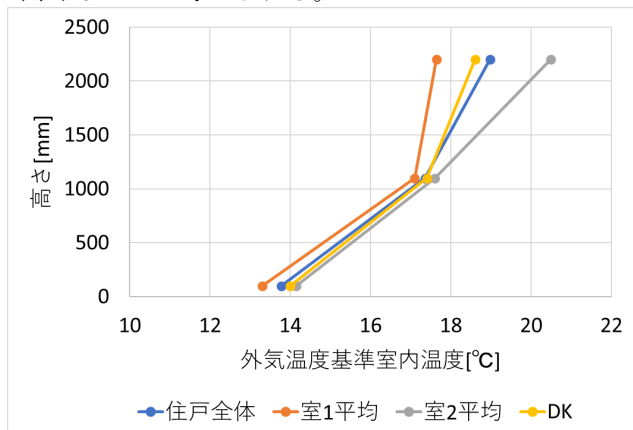


図 13. ケース 4 垂直温度分布 (実測)

以上のことから、ケース4では開口の近い室2の内外温度差が他のケースに比して大きくなったため、換気回数が大きくなったと考えられる。また、ケース2の室2垂直温度分布をみるとケース1の垂直温度分布と大きく変わらないことが分かる。このことから温度差換気による換気量は開口付近の室内外温度差によると考えられる。

3. 1. 2 室内空気齢測定結果

図14~17に各ケースでの空気齢分布図を示す。この結果から、全ケースにおいてDKの南西部分において相対的に高い値を示していることが確認できるが、室全体としては分布に大きな偏りはない。また、各ケース間で室の平均的な空気齢を比較すると差はみられるものの、各ケースでの換気回数に依存しており、発熱体の設置位置による局所空気齢の差はないと考えられる。以上のことから、温度差換気は室全体の空気質改善という点において有効であると考えられる。

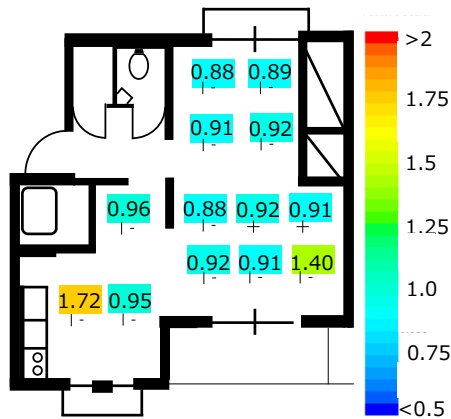


図14. ケース1 空気齢分布 [h]

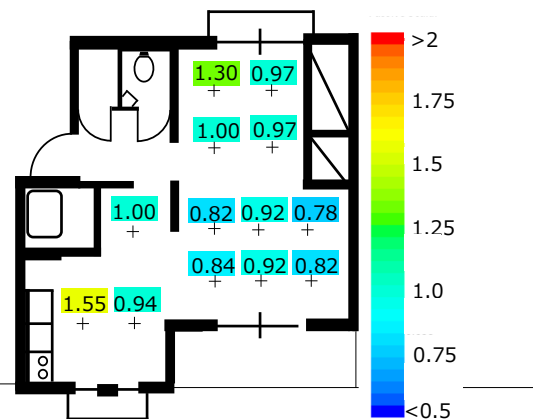


図15. ケース2 空気齢分布 [h]

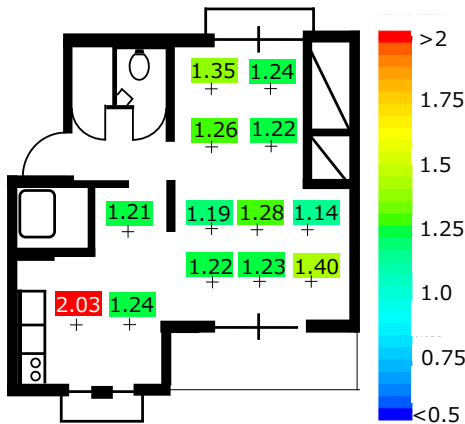


図16. ケース3 空気齢分布 [h]

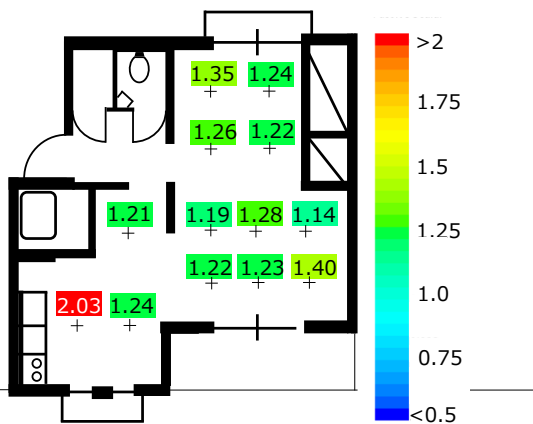


図17. ケース4 空気齢分布 [h]

3. 2 CFD解析結果

各ケースでの垂直温度分布を図18~20に示す。本研究のCFD解析では定常解析を行っているが、実測条件下では躯体による吸熱の影響が大きいと考えられるため、本CFD解析が実測結果を再現できていないとは言えない。しかしながら、各ケースにおける実測とCFD解析との垂直温度分布を比べると概ね似た傾向を示していることから、以降、CFD解析を用いて熱源設置位置の違いによる室内温度分布傾向と換気量の関係性について検討を進める。

図21にCFD解析結果における各ケースでの室内外温度差と換気回数の関係について示す。尚、実測同様理論換気回数は表2の式を用いて算出した。この結果から全てのケースにおいて理論換気回数と近い値が算出されていることが分かる。また全ケースとも換気回数は理論値に比べてCFD解析値が大きくなっており、特にケース4での換気回数が大きいことが分かる。これ

は実測の傾向とも一致しており、室全体の平均温度に比べて、開口部付近の温度が高いためであると考えられる。以上のことより、本 CFD 解析によって得られた室内外温度差と換気回数との関係は妥当であると言える。

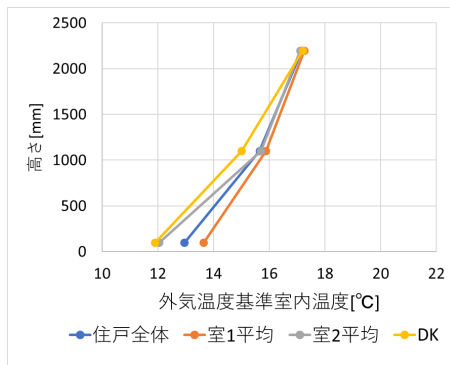


図 18. ケース 1
垂直温度分布 (CFD)

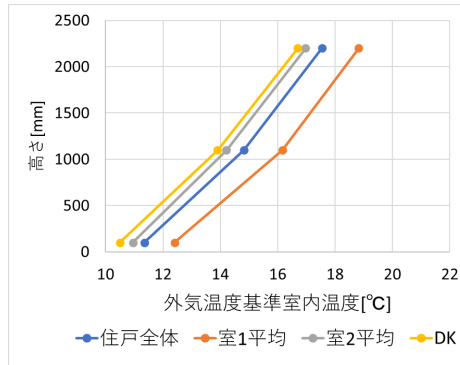


図 19. ケース 2
垂直温度分布 (CFD)

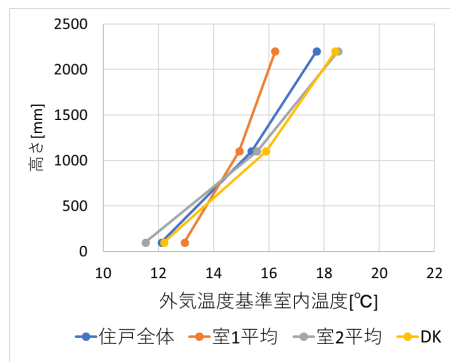


図 20. ケース 4
垂直温度分布 (CFD)

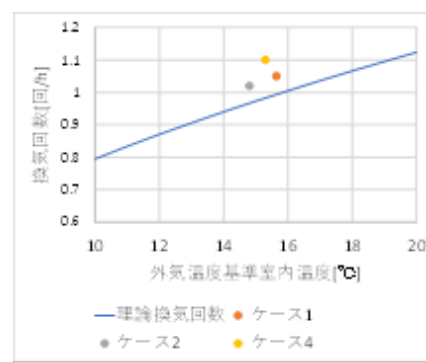


図 21. 実測と CFD 解析結果との換気回数比較

次に、各ケースにおける外気温度基準での平面温度分布を図 22～24 に示す。これらの結果から、各ケースでの発熱体の設置位置と温度分布の傾向が一致していることが確認できる。また、全ケースで床上 100mm の高さにおいて開口部から低温の外気が流入しており、このことによって開口部付近で温度が低下していることが確認できる。図 18～20 において床上 100mm 地点での室 2 の温度が小さいことはこれが原因であると考えられる。

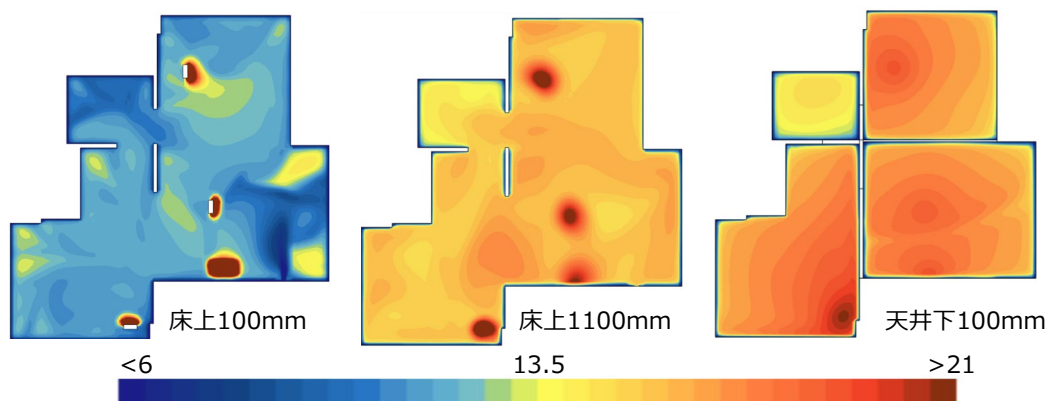


図 22. ケース 1 平面温度分布

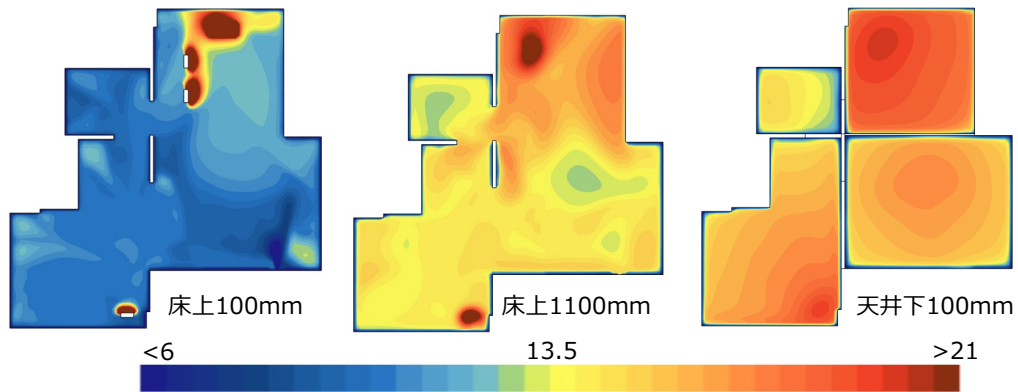


図 23. ケース 2 平面温度分布

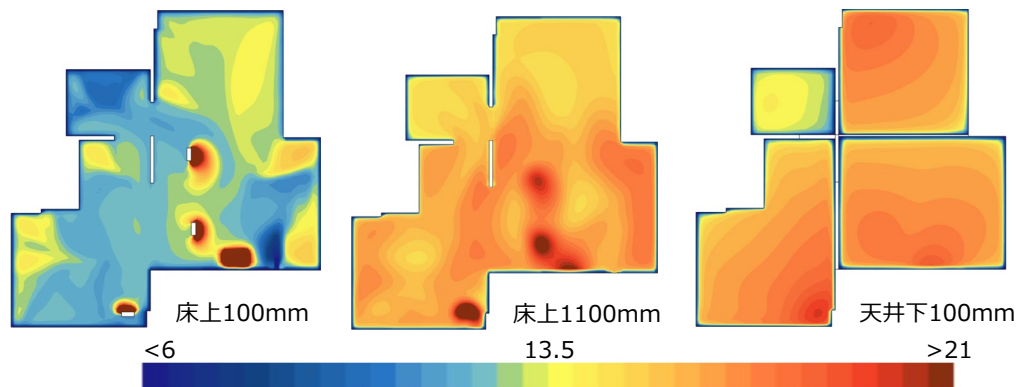


図 24. ケース 4 平面温度分布

3. 3 CFD 追加検討

3. 3. 1 追加検討概要

3. 2で述べたように、冬期の温度差換気を利用した室内換気を行った場合、低温の外気が流入することによって足元での不快感が生じる恐れが高い。この問題点を改善するために、開口部の下部に発熱体を設けることで、流入気流による温度低下を妨げる効果についてCFD解析を用いて検討を行った。

ケース 1 (図 6) およびケース 4 (図 12) において室 2 の開口部付近に設置していたヒーターを検討開口の直下に移動し (図 25、26)、それぞれケース 1 改、4 改とした。なお、CFD 解析条件は 4 章と同様とした。また、変更後の設置位置は開口部から室内側に 100mm 位置の床面とした。

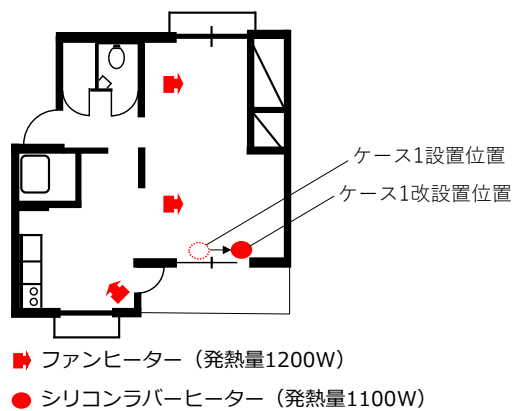


図 25. ケース 1 改発熱体設置位置

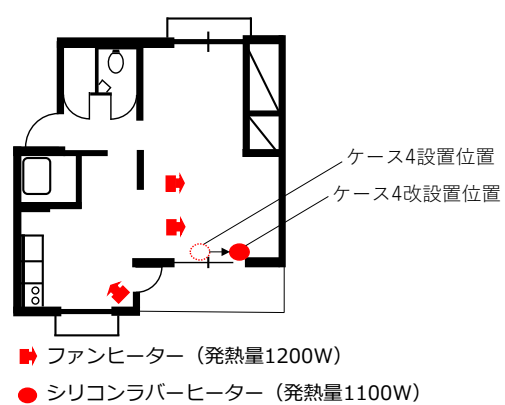


図 26. ケース 4 改発熱体設置位置

3. 3. 2 追加検討結果

CFD 解析結果による垂直温度分布を図 27、28 に示す。図 27 より、床上 100mm 地点において全体的に温度の上昇がみられ、特に室 2 では 2℃程度の温度上昇がみられることから、床上 100mm 地点での温度が改善されていることに加えて各室間での温度差が小さくなっていることが分かる。また図 28 より、床上 100mm 地点においてケース 4 では室 1 に比べて室 2 の温度が小さくなっているが、ケース 4 改ではその大小関係が逆転している。また、室 1 の温度分布はケース 4 とケース 4 改との間で差はあまり見られないが、室 2 では特に床上 100mm 地点で大幅な温度上昇がみられる。また、床上 1100mm 以上の地点では室 2 においてもケース 4 とケース 4 改との間で温度分布にあまり差はみられない。以上のことから、開口部付近に発熱体を設置することで、開口部付近の空間において足元の温度低下を妨げる効果があると考えられる。

ケース 1、4 とケース 1 改、4 改の換気回数比較結果を図 29 に示す。発熱体設置位置によらず、追加検討での換気回数は既存ケースと比べて微増しており、開口部付近に設置した発熱体が換気の妨げにはならないことが確認できる。また、換気回数が増加した要因として、開口部付近の温度が上昇したことが考えられ、この傾向は実測及び 5 章の CFD 解析の結果とも一致する。

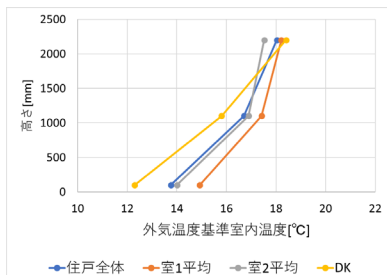


図 27. ケース 1 改垂直温度分布

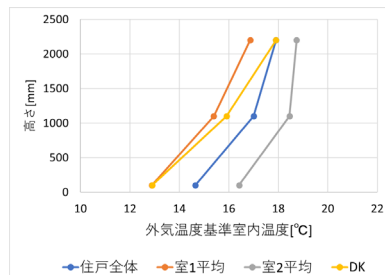


図 28. ケース 4 改垂直温度分布

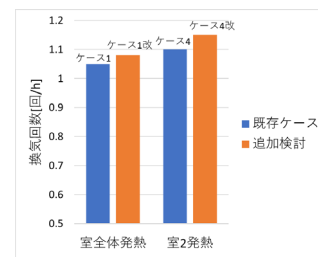


図 29. 換気回数比較

図 30、31 に各ケースの平面温度分布図を示す。これらの結果から床上 100mm の地点において、図 24～26 で確認された低温の外気が流入する様子が改善されていることが分かる。また、床上 1100mm の地点において図 22、24 と比較すると温度が全体的に上昇していることから、開口部付近の発熱体は足元付近だけでなく室全体の温度上昇にも寄与すると考えられる。

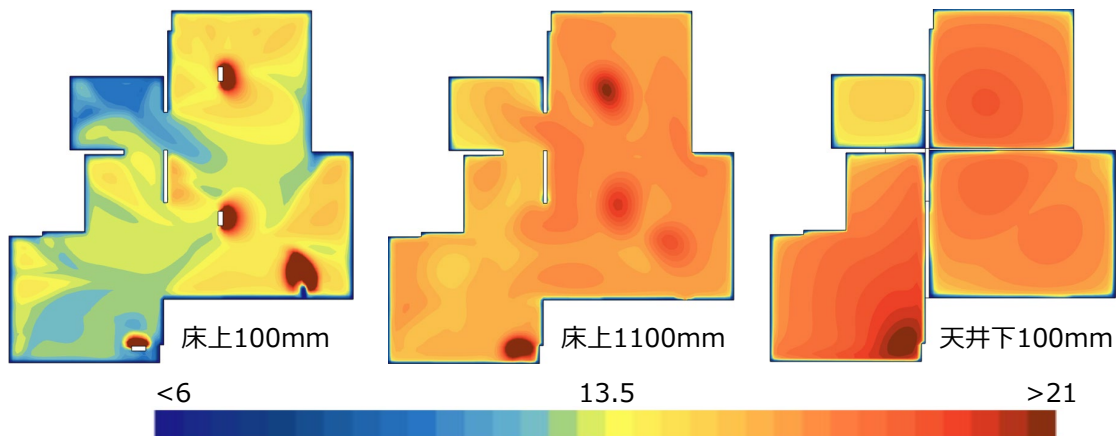


図 30. ケース 1 改 平面温度分布

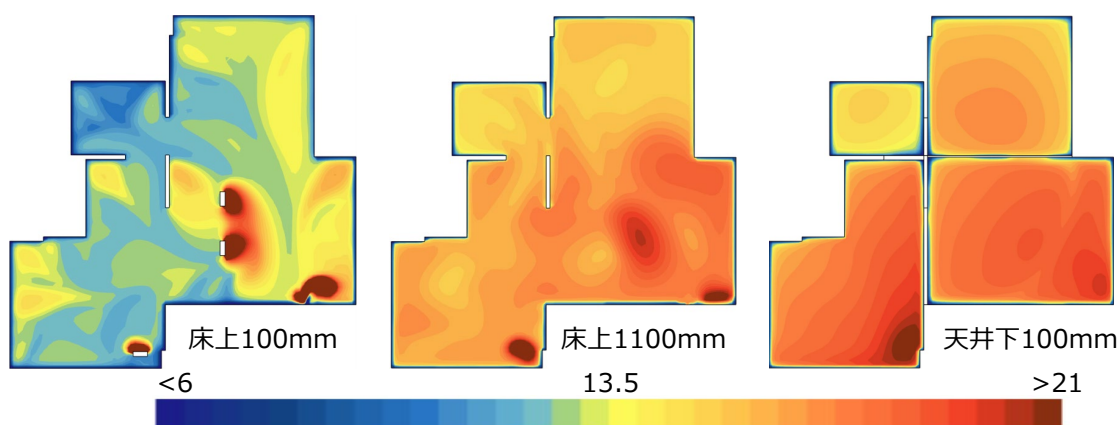


図 31. ケース 4 改 平面温度分布

ISO7730*²に基づく各室における上下温度差と不満足率を表 5 に示す。既存のケースにおいては流入外気の影響により、特に室 2 部分で上下温度差が大きくなり、それに伴い不満足率も大きくなる結果となったが、追加検討ケースではそれが改善された。ISO7730 においても上下温度差は 3℃以内にするのが推奨されておりそれを満たす結果となった。

表 5. 各室における上下温度差と不満足率及び算出式

	上下温度差 (°C)			不満足率 (%)		
	室全体平均	室1平均	室2平均	室全体平均	室1平均	室2平均
ケース1	2.70	2.24	3.66	3.08	2.10	6.72
ケース2	3.46	3.75	3.26	5.74	7.24	4.88
ケース4	3.26	1.98	4.04	4.89	1.68	9.07
ケース1改	2.95	2.49	2.89	3.78	2.60	3.60
ケース4改	2.36	2.50	2.03	2.32	2.61	1.76

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(5.76 - 0.856 \cdot \Delta t_{a,v})}$$

PD : 不満足率 (%)

$\Delta t_{(a, v)}$: 床上 1.1m と床上 0.1m の高さにおける温度差 (°C)

3. 4 まとめ

本研究より以下の知見を得た。

- 1) 実測により得られた室内外温度差と換気回数の関係から、温度差換気を用いた室内換気の妥当性を確認した。
- 2) 換気駆動力となる温度差は開口部付近での室内外温度差が重要であると考えられる。
- 3) 低温外気が流入することによる温熱環境の悪化に対する改善策として、開口部直下に熱源を設けることが効果的であると考えられる。

参考文献

*1 国土交通省住宅局：建築物における効率的な換気の促進に関する取り組み事例集

2022年6月

*2 ISO 7730-2005 Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria

その2 風向測定を目的としたクアッドサーミスタの開発

1. 研究の目的

早川らの研究*1ではガス給湯器からの排気性状のCFDにおける再現性向上を目指しており、詳細な排気風向の把握が求められている。風向を測定するためにはスプリットフィルムプローブ等を用いることが多いが、高価で断線しやすいなど扱いが難しい。水谷らの研究*2では2本の熱式風速計を用いた風向測定の可能性を示唆している。本研究ではこれらを参考に、判定精度を高めるため風速計を4本使用したクアッドサーミスタの風向特性を把握し、給湯器の排気風向をより詳細に測定する手法について検討を行った。

2. 研究の方法

2. 1 風洞実験

クアッドサーミスタの概要を図1に示す。遮蔽のまわりに4つの風速計を配置し、各風速計が示す値から風向および風速を特定する。エッフェル型風洞装置内のトラバース装置に取り付けて回転させ(図2)、風向角毎に各センサーの指示値を得た。図1に示すXY平面における回転角度をヨー角、XZ平面における回転角度をピッチ角とし、ピッチ角 $\phi = -30, -15, 0, 15, 30^\circ$ の5ケースにおいてヨー角 $\theta = -45 \sim 45^\circ$ の範囲で 15° 刻みの測定を行った。なおクアッドサーミスタの設置位置におけるスカラー風速を基準風速とした。

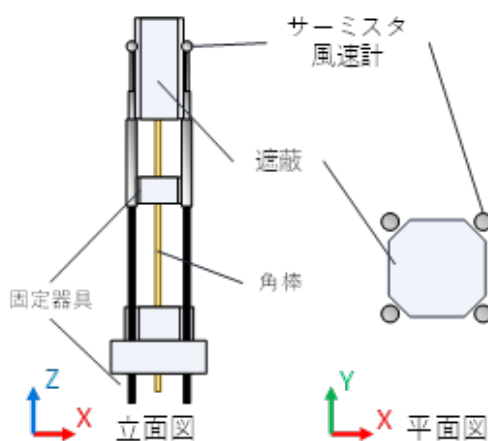


図1. クアッドサーミスタ

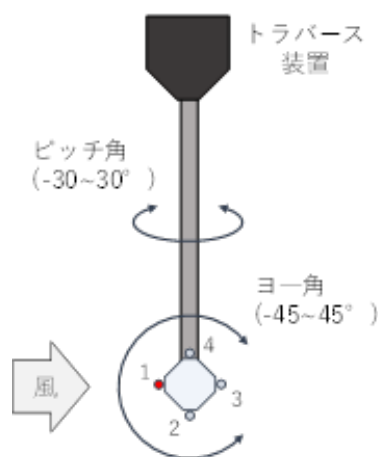


図2. 回転方法

2. 2 ガス給湯器を対象とした実測

ガス給湯器からの排気(自由噴出)を対象として、今回作成したクアッドサーミスタを用いて測定し、後述する2種類の算出法から風向角を決定する。正方形の吹出口を 3×3 の9等分(Jet1~9)しその各中心において、機器から100mm, 200mm離れた地点で測定を行う(図3)。クアッドサーミスタを水平(XY)面風向の測定時には縦向き、鉛直(XZ)面風向の測定時には横向きにし、測定点の中心にセンサー1が合うよう配置し測定する(図4)。なお、クアッドサーミスタの断面積は吹き出し口面積全体の4.15%であるためブロッキングの影響は小さいと判断した(図5)。併せて、クアッドサーミスタで用いているものと同じ型の熱式センサーにより、jet1~9のスカラー風速を測定した。

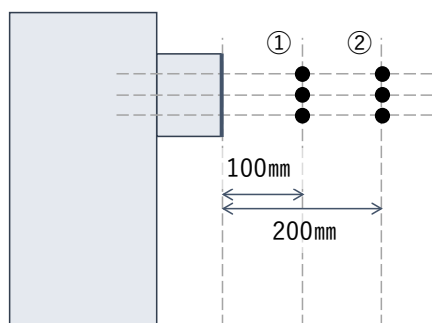


図3. 風向測定点

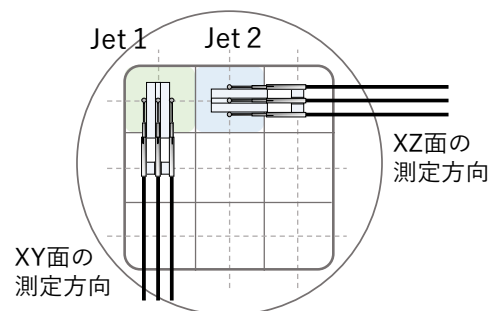


図4. クアッドサーミスタによる測定方法

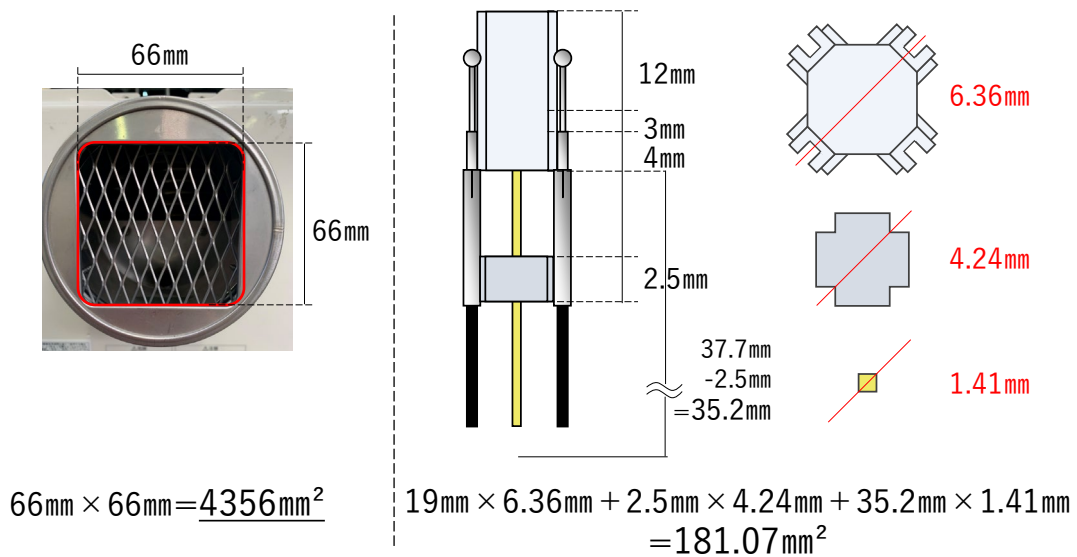


図 5. ブロッキングの検討

3. 研究成果

3. 1 測定結果

ピッチ角 0° における各センサーの値を図 6 に示す。センサー 1 が風に正対する向きを 0° とし、 $-45^\circ \sim 45^\circ$ の範囲で測定した値を用いて 360° の風向特性としている。センサー 1 に着目すると、 $150^\circ \sim 210^\circ$ の範囲で最も低い値、 $60^\circ \sim 90^\circ$ の範囲で最も高い値を示している。風上側に位置する $\theta = 0^\circ$ の時にはよどみの影響を受け風速が低下する様子が確認できる。またピッチ角が風向曲線に影響を与えており(図 7)、 $45^\circ \sim 315^\circ$ において、負のピッチ角の方が正のピッチ角より高い値を示す傾向がある。

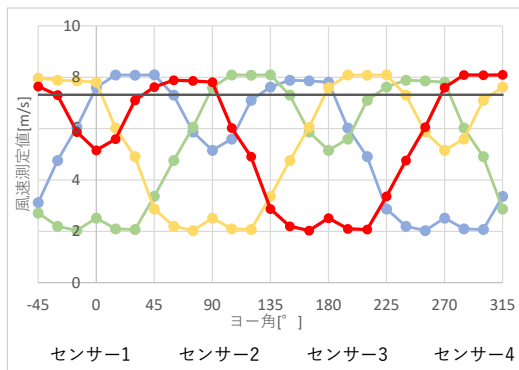


図 6. 各センサーの指示値 (ピッチ角 0°)

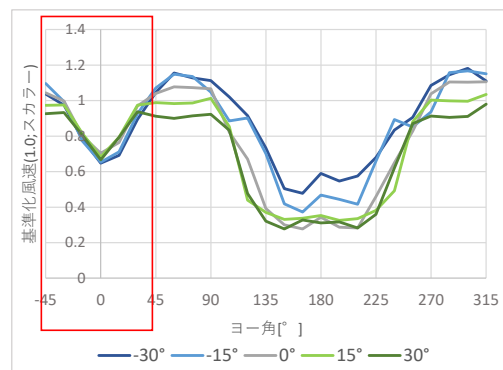


図 7. ピッチ角による比較

3. 2 風向の算出方法

3. 2. 1 算出方法 I

3. 1 の結果を基に各センサーの指向特性を \cos 曲線に近似したグラフを図 8 に示す。 $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ と $45^\circ \leq \theta \leq 315^\circ$ の 2 つに区分でき、それぞれの区間について図 8 に示す式で近似できる。なお、センサー 2 ~ 4 の近似式は、センサー 1 の近似式の位相が 90° ずつずれる形であらわされる。このうち(2)式を用いて測定対象の風向を推定する。排気の風向角が $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ と仮定すると、センサー 1 が(1)式、センサー 2 ~ 4 が(2)式の範囲内となるため、2 ~ 4 の 3 つの値から(2)式の 3 つの未知数: a_2, θ, b_2 の解が得られ、風向 θ が決定される。

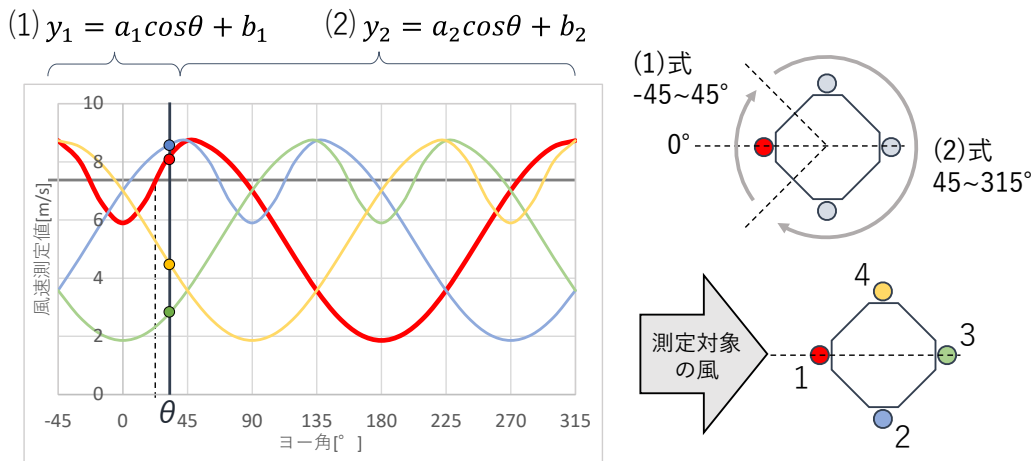


図 8. 【算出 I】 cos 曲線近似

3. 2. 2 算出方法 II

図 7 の赤枠の範囲 ($-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$) において、指向特性を表す曲線を全測定ケースで平均したところ直線に近くなったため、これを直線で近似し風向角を x 、基準化風速を y とした方程式で表す(図 9)。このとき近似直線は $-45^\circ \leq \theta \leq -30^\circ$ 、 $-30^\circ \leq \theta \leq 0^\circ$ 、 $0^\circ \leq \theta \leq 30^\circ$ 、 $30^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ の 4 つに区分する。各センサーの値から風向を決定する方法を図 10 に示す。センサー 1 の値から風向の絶対値を決定しセンサー 2 と 4 の大小関係から風向角の符号を決定する。符号は $2 > 4$ のとき正、 $4 < 2$ のとき負となる。

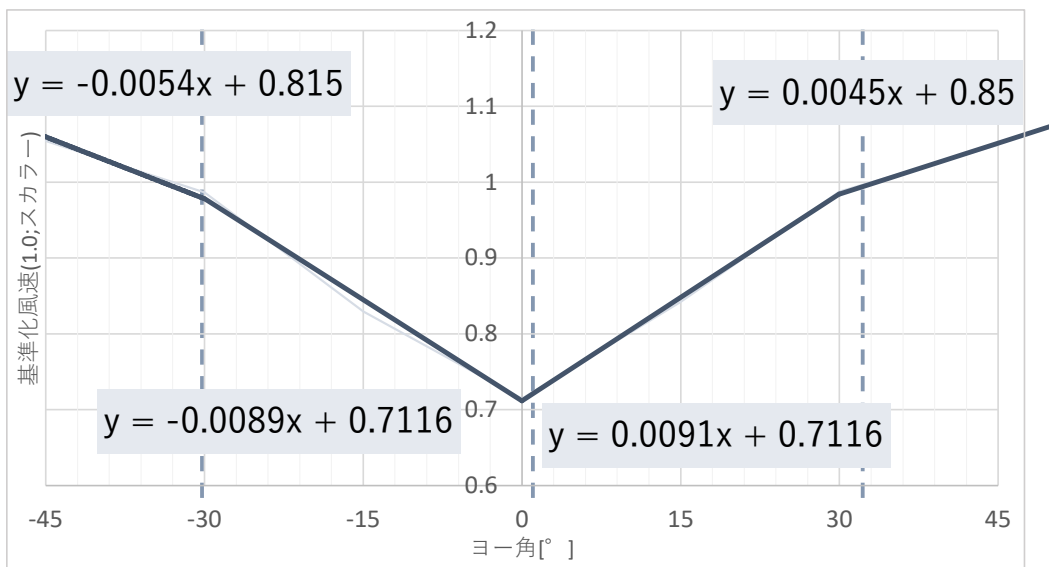


図 9. 【算出 II】 基準化近似直線 ($-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$)

センサー	風速測定値[m/s]	基準化
1	7.27	0.97
2	8.27	1.11
3	5.75	0.77
4	9.77	1.31
基準風速	7.47	1.0

→ 近似直線にあてはめ、風向を決定

→ 2 と 4 の大小から符号を決定

図 10. 【算出 II】 風向角の決定方法

3. 3 ガス給湯器を対象とした実測の結果

3. 3. 1 実測結果

クアドサーミスタの各センサーの測定結果から、前述の2種類の算出方法を用いて風向を算出する。算出方法 I, II より決定した風向を表 1, 2 に示す。2種類の風向をそれぞれ I, II と呼ぶ。I に比べ II の方が過大評価されている傾向がみられる。また II では、機器から 100mm 地点の jet7 のヨー角, jet5 のピッチ角など近似直線の範囲から外れる測定点が数点見受けられた。CFD 解析との比較 ガス給湯器からの排気を概ね再現した CFD 解析結果と算出風向 I, II を比較し、算出の精度を確認する。吹出口中段の水平面 (Jet4, 5, 6) と中列の鉛直面 (Jet2, 5, 8) の風速ベクトル分布をそれぞれ図 11, 12 に示す。風向は概ね一致しているが、水平面では Jet6 と Jet5 の算出風向 II で反対方向を示しており、鉛直面では上下段の Jet2, 8 で風向角が過大評価されていることが確認できる。

表 1. 算出 I より決定した風向

Jet No.	水平[°]										
	鉛直[°]										
1	-16.2	2	-3.9	3	4.4	1	-11.1	2	-3.1	3	3.0
	8.2										
4	-10.0	5	0.1	6	8.9	4	-11.3	5	-4.4	6	1.0
	-6.0										
7	-17.2	8	-3.3	9	10.5	7	-0.5	8	-3.7	9	1.9
	-8.8										

表 2. 算出 II より決定した風向

Jet No.	水平[°]										
	鉛直[°]										
1	-29.4	2	-6.3	3	10.6	1	-4.1	2	-3.2	3	5.0
	28.6										
4	-5.6	5	25.3	6	9.8	4	-7.2	5	-11.5	6	17.4
	-2.2										
7	-63.1	8	-35.8	9	28.1	7	-26.6	8	-25.8	9	33.6
	-11.9										

3. 3. 2 CFD との比較

ガス給湯器からの排気を概ね再現した CFD 解析結果と、クアッドサーミスタの測定結果から算出した風向 I, II を比較し、算出の精度を確認する。吹出口中段の水平面 (Jet4, 5, 6) と中列の鉛直面 (Jet2, 5, 8) の風速ベクトル分布をそれぞれ図 11, 12 に示す。風向は概ね一致しているが、水平面では Jet6 と Jet5 の算出風向 II で反対方向を示しており、鉛直面では上下段の Jet2, 8 で風向角が過大評価されていることが確認できる。

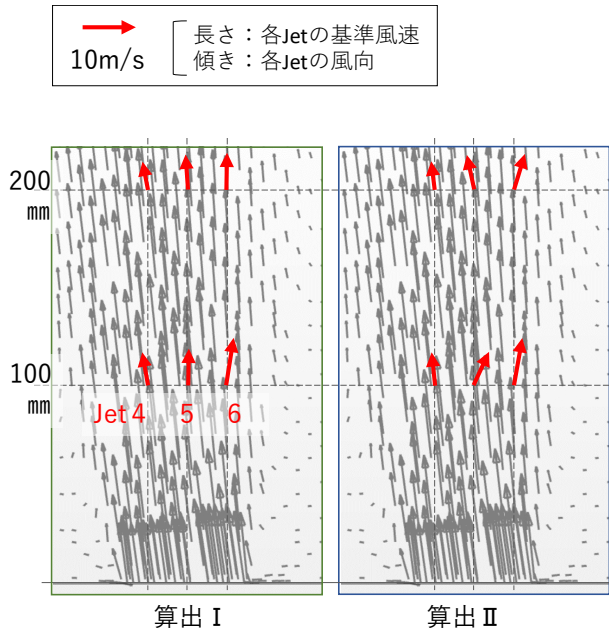


図 11. 風向比較 (ヨー角)

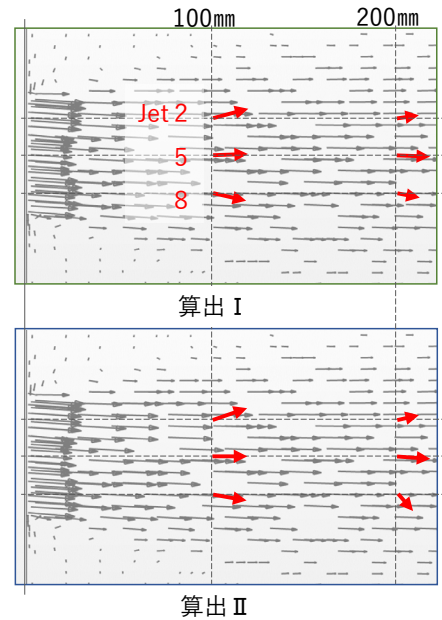


図 12. 風向比較 (ピッチ角)

3. 4 まとめ

本研究から以下の知見が得られた。

1. 風洞実験からクアッドサーミスタの風向特性として、風速は風に対し 45° 付近のセンサーが最大値を、風下に位置するセンサーが最小値を示し、風上に位置するセンサーは風に正対する向きでよどみにより低い値を示す。
2. ピッチ角による比較から、ヨー角 $45^\circ \sim 315^\circ$ において吹き降ろす風のほうが吹き上げる風より高い風速を示す。
3. 実測実験による算出風向と解析との比較から、直線による近似である算出方法 II より、大小二つの \cos 曲線による近似である算出方法 I を用いた場合に、より精度の良い風向が得られる。

参考文献

- *1 早川他：吹出口の境界条件が及ぼすガス給湯器からの排気拡散性状の再現に関する研究 [日本建築学会, 2022]
- *2 水谷他：自然通風・換気に及ぼす風向変動の影響に関する研究 その 2 [日本建築学会大会学術講演梗概集, p.1483-1484, 2022.7]

4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 3 件)

1. 単一開口における自然換気時の室内空気質と温熱快適性に関する研究
(河野晃斗 他：2023 年度日本建築学会大会 (近畿) にて発表予定)
2. 単一開口における自然換気時の室内空気質と温熱快適性に関する研究
(河野晃斗 他：2023 年度空気調和・衛生工学会 (福井) にて発表予定)
3. 風向測定を目的としたクアッドサーミスタの開発
(田邊賀世 他：2023 年度日本建築学会大会 (近畿) にて発表予定)

[図書] (計 0 件)

[その他, 産業財産権, ホームページ等]

なし

5. 研究組織

(1) 研究代表者

倉淵 隆

東京理科大学・工学部・教授

(2) 研究分担者

- | | |
|-----------|-----------------|
| 1. 石川 光太郎 | 東京理科大学・工学研究科・院生 |
| 2. 中野 沙紀 | 東京理科大学・工学研究科・院生 |
| 3. 宅和 満 | 東京理科大学・工学研究科・院生 |
| 4. 早川 敦徳 | 東京理科大学・工学研究科・院生 |
| 5. 河野 晃斗 | 東京理科大学・工学部・卒研生 |
| 6. 田邊 賀世 | 東京理科大学・工学部・卒研生 |
| 7. 野中 俊宏 | 東京理科大学・工学部・教授 |
| 8. 金 政一 | 東京理科大学・工学部・助教 |
| 9. 水谷 国男 | 東京工芸大学・工学部・教授 |

6. 要約(Abstract, 英文)

Research Theme : Evaluation of ventilation performance and effective effectiveness of devices in actual block area

Representative Researcher (Affiliation) : Takashi Kurabuchi (Tokyo University of Science)
Summary • Figures

Study on the ventilation and improvement of thermal environment using buoyant driven ventilation with a single opening

In order to obtain sufficient ventilation volume in winter while not compromising thermal comfort, buoyant driven ventilation with a single opening is considered effective. We studied the appropriateness of using it as a ventilation method and the location of appropriate heat sources for improving the thermal environment using actual measurements and CFD analysis, and the following three points were found.

1. We confirmed that buoyant driven ventilation is effective as one of the methods to obtain a stable ventilation rate, based on data obtained from actual measurements.
2. As a driving force for buoyant driven ventilation, temperature differences near the opening are important.
3. As a measure to improve the thermal environment due to the inflow of cold outside air, it is effective to place a heat source directly below the opening.

Development of quad thermistor for wind direction measurement

Hayakawa et al.'s research aims to improve the reproducibility of exhaust gas properties from gas water heaters in CFD, which requires a detailed understanding of exhaust wind direction. A split-film probe is often used to measure wind direction, but it is expensive and difficult to handle due to its tendency to break easily. Mizutani et al. suggested the possibility of using two thermal anemometers to measure wind direction. In this study, we used this as a reference to understand the anemometer characteristics of a quad thermistor using four anemometers to improve the accuracy of determination, and to investigate a method to measure the exhaust air direction of a water heater in more detail. The following findings were obtained from this study: 1.

- (1) Wind tunnel experiments show that the quad thermistor's wind direction characteristics are as follows: the sensor located near 45° to the wind shows the maximum wind speed, the sensor located downwind shows the minimum wind speed, and the sensor located upwind shows a low wind speed due to stagnation in the direction directly opposite to the wind.
- (2) Comparison by pitch angle shows that the wind blowing down has a higher wind speed than the wind blowing up at yaw angles from 45° to 315° .
- (3) Comparison of the calculated wind direction based on the experimental measurements and the analysis shows that the calculation method I, which approximates the wind direction by two large and two small cos curves, is more accurate than the calculation method II, which approximates the wind direction by a straight line.